



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

金属熔化焊基础

第二版

叶琦 主编



化学工业出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

金属熔化焊基础

第二版

叶 琦 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是根据中等职业教育课程改革和教材建设规划而编写的焊接专业国家规划教材。全书共分为六章,针对焊接专业的教学需要,本书在全面介绍了金属学及金属材料热处理知识的基础上,对金属材料在熔焊过程中成分、组织、性能及冶金化学变化规律、焊接材料、焊接缺陷的产生与防止作了系统的论述。本教材根据中等职业教育“理论够用为度”的原则,注重内容的实用性、新颖性、实践性、先进性、通俗性和广泛性。内容编排上每章开头均有本章要点,末尾有实验、思考练习题,便于学生学习和复习。安排上针对焊接专业的特点与需要选材,重点比较突出。

本书主要作为中等职业学校焊接专业的课程教材或职工培训教材,也可作为在职焊接工人和初级技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金属熔化焊基础/叶琦主编. —2版. —北京:化学工业出版社, 2008.12

中等职业教育国家规划教材

全国中等职业教育教材审定委员会审定

ISBN 978-7-122-03771-8

I. 金… II. 叶… III. 金属-熔焊-专业学校-教材
IV. TG442

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第151644号

责任编辑:高钰

文字编辑:李锦侠

责任校对:王素芹

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:北京白帆印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张14 $\frac{3}{4}$ 字数362千字 2009年1月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:25.00元

版权所有 违者必究

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

第二版前言

本书是根据教育部颁布的中等职业学校焊接专业《金属熔化焊基础》课程教学大纲和中等职业教育的培养目标要求编写的，是适用于三年制中等职业学校焊接专业使用的国家规划教材。第一版于2002年出版后，经多所中职业学校和社会读者使用，取得了良好的社会效果。

此次修订，在编写过程中仍以突出学生能力培养为目标，完善学生的知识结构，全面提高学生的综合素质，体现职业教育的特色。在保持第一版实用性、新颖性、实践性、通俗性以及广泛性的基础上，根据几年来国家标准的变更情况，对教材中所涉及的标准及时地进行了更新。如在第二章中原《热处理工艺分类及代号》采用的是GB 12603—1990，新版更新为GB 12603—2005，第六章中《金属熔化焊焊缝缺陷分类及说明》GB 6417.1—1986，新版更新为GB 6417.1—2005等，保持了教材的先进性。考虑中职学生的知识层次和结构，在绪论中对焊接的类型、焊接的发展等作了简要的概述，在第一章中除了介绍金属的力学性能以外，补充了金属的物理性能等基础知识。

参加本次教材编写工作的有：叶琦（绪论、第二章、第四章），李海娟（第一章），陈梅春（第三章、第五章），叶青（第六章），李凤银（第四章）。全书由叶琦担任主编，安徽理工大学吴传彬担任主审。

此次修订工作得到化工职业教育行业指导委员会及有关院校的大力支持和协助。对武汉重冶集团陈先生在教材编写过程中提供的帮助，以及教材中所有参考资料的作者，在此一并表示衷心感谢。

限于作者水平，对此次修订中可能出现的疏漏及欠妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2008年8月

第一版前言

本书是根据教育部颁布的中等职业学校焊接专业《金属熔化焊基础》课程教学大纲和中等职业教育的培养目标要求编写的,是适用于三年制中等职业学校焊接专业使用的国家规划教材。教学总时数为140学时,分理论知识基础模块和实践教学模块两部分,其中基础模块120学时,实践模块20学时。

本教材在编写过程中,突出以能力为本,全面提高学生综合素质的指导思想,体现职教特色,与其他教材相比具有如下特点。

(1) 实用性 根据中等职业教育的特点,突出知识的实用性。结合初级、中级电焊工职业技能的要求及目前焊接生产的实际情况,在内容编写上做到以实用、够用为原则。

(2) 新颖性 本教材是将金属学基础、金属材料与热处理、焊接材料及熔焊原理融为一体的焊接专业新教材,使之更体现出职业教育的特色,在内容安排上做到循序渐进,前后联系合理紧凑,每章开头有本章要点,末尾有实验、思考练习题,以便于指导教学和学生自学。

(3) 先进性 本教材采用了最新的国家标准,如合金工具钢 GB/T 1299—2000、优质碳素结构钢 GB/T 699—1999、熔敷金属中扩散氢测定方法 GB/T 3965—1995等,增加了新技术、新工艺、新材料、新标准、新方法的介绍,如计算机在热处理工艺中的应用、塑料模具钢、药芯焊丝、双层药皮焊条等。

(4) 实践性 教材中编入了实验内容,指导学生实验,提高实践操作应用能力。

(5) 通俗性 降低理论深度,删除了三元合金相图,减少有关冷裂纹形成机理和冷裂纹敏感性判断及晶面、晶向表示方法等理论性强、理解难度大的内容,语言上浅显易懂,理论上深入浅出。

(6) 广泛性 教材内容上从金属学与热处理基础、金属材料与焊接材料、焊接冶金与焊接缺陷及实验等方面都进行了广泛的论述,知识面较广,注意到了学生综合素质的提高,故也可作为机械类其他专业选修教材或作为职业培训教材使用,并供焊接、机械工程等工作人员参考,适用范围较广。

本教材由湖南岳阳工业技术学院陈梅春(绪论、第三章、第五章),安徽理工大学叶琦(第二章、第六章),河南省化工学校李凤银(第一章、第四章)等编写。陈梅春任主编,叶琦任副主编,广西石化高级技校雷俊担任主审。

编写中得到了化工职业教育行业指导委员会和兄弟院校有关同志的大力支持和协助,并引用了一些专家所编著的教材和著作中的大量资料,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中缺点或错误难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2002年2月

目 录

绪论	1
一、金属焊接的本质与熔化焊的分类	1
二、学习本课程的目的与意义	2
三、学习本课程的目标要求	3
四、学习本课程的方法	3
第一章 金属学基础	4
第一节 金属材料的物理性能	4
一、金属材料的物理性能	4
二、密度	4
三、熔点	4
四、热膨胀性	4
五、导热性	4
六、导电性	5
第二节 金属材料的力学性能	5
一、强度	5
二、塑性	7
三、硬度	8
四、冲击韧性	12
五、疲劳强度	14
第三节 金属的晶体结构	14
一、金属的晶格与晶胞	15
二、常见的晶体结构类型	15
三、金属的实际晶体结构与晶体缺陷	16
四、金属的同素异构转变	18
第四节 金属的结晶过程	19
一、金属结晶的概念	19
二、金属结晶的过冷现象	19
三、金属的结晶过程	20
四、晶粒大小对金属力学性能的影响	20
五、控制晶粒大小的措施	21
第五节 合金的结构与结晶	21
一、基本概念	21
二、合金的结构特点	22
三、合金的结晶特点	23

四、二元合金相图及分析	23
第六节 铁碳合金相图	27
一、概述	27
二、铁碳合金的相及组织	28
三、铁碳合金相图的分析	30
四、典型铁碳合金的结晶过程	33
五、Fe-Fe ₃ C 相图的应用	38
第七节 金属受力时结构和性能的变化	41
一、金属的塑性变形	42
二、冷塑性变形对金属组织结构和性能的影响	43
三、冷塑性变形金属加热时组织结构和性能的变化	45
实验一 金相试样制备及显微镜使用	46
实验二 铁碳合金组织观察	51
思考练习题	53
 第二章 焊件热处理基础	55
第一节 概述	55
一、焊件热处理的目的及意义	55
二、常用热处理方法	56
第二节 钢在加热时的转变	56
一、奥氏体的形成过程	56
二、影响奥氏体形成的因素	57
三、奥氏体的晶粒度	57
四、影响奥氏体晶粒长大的因素	58
第三节 钢在冷却时的转变	59
一、过冷奥氏体的等温转变	59
二、过冷奥氏体等温转变产物的组织和性能	60
三、过冷奥氏体的连续冷却转变	62
四、过冷奥氏体等温转变曲线的应用	64
第四节 常用热处理方法	65
一、退火	65
二、正火	67
三、淬火	67
四、回火	71
五、表面热处理	73
六、热处理新技术简介	76
第五节 焊件热处理工艺的选择	78
一、热处理的技术条件	79
二、焊件热处理工艺的选择	80
实验三 钢的热处理操作	84

思考练习题	85
第三章 常用金属材料	86
第一节 碳钢	86
一、钢中常存元素及其对钢的性能的影响	86
二、碳钢的分类	86
三、碳钢的牌号、性能及用途	87
第二节 合金钢	90
一、合金钢的分类和牌号	91
二、合金元素对钢组织和性能的影响	91
三、合金结构钢	92
四、合金工具钢和高速工具钢	97
五、特殊性能钢	100
第三节 铸铁	102
一、铸铁的分类和石墨化	102
二、灰铸铁	103
三、可锻铸铁	104
四、球墨铸铁	105
五、蠕墨铸铁	106
第四节 有色金属	107
一、铝及铝合金	107
二、铜及铜合金	110
三、钛及钛合金	112
思考练习题	114
第四章 焊接材料	115
第一节 焊条	115
一、焊条的组成及作用	115
二、焊条的分类、型号及牌号	119
三、焊条的工艺性能	125
四、焊条的冶金性能	127
五、焊条的选用、使用及制造	129
六、焊条的发展现状	132
第二节 焊丝	134
一、焊丝的分类	135
二、焊丝的牌号	135
三、实心焊丝	136
四、药芯焊丝	136
第三节 焊剂	138
一、焊剂的分类	138
二、焊剂的型号和牌号	139
三、焊剂的组成与性能	143

四、焊剂的选用·····	144
五、焊剂发展的现状·····	145
第四节 焊接用气体·····	145
一、焊接用气体的物理和化学性质·····	145
二、焊接用气体的类型及用途·····	147
第五节 钎料与钎剂·····	149
一、钎料的分类·····	149
二、钎料的编号·····	149
三、钎焊对钎料的要求·····	150
四、钎剂的种类、型号和牌号·····	151
五、常用钎剂的性能和用途·····	152
第六节 其他焊接材料·····	153
一、钨极的种类与性能·····	153
二、气焊熔剂·····	154
三、其他焊接材料·····	155
思考练习题·····	155
 第五章 焊接冶金基础·····	157
第一节 焊接热过程·····	157
一、常用焊接热源及传热基本方式·····	157
二、焊接温度场·····	158
三、焊接热循环·····	161
第二节 焊接冶金的特点·····	164
一、焊接时金属的保护·····	164
二、焊接冶金的特点·····	165
三、焊接冶金各反应区的特点·····	166
第三节 焊缝金属的组成·····	167
一、焊条的熔化及过渡·····	167
二、母材的熔化及熔池·····	169
三、母材金属的稀释·····	170
四、焊接熔渣·····	170
第四节 有害元素对焊缝金属的作用·····	171
一、氢对焊缝金属的作用·····	172
二、氮对焊缝金属的作用·····	174
三、氧对焊缝金属的作用·····	174
四、焊缝中硫、磷的控制·····	178
五、焊缝金属的合金化·····	179
第五节 焊缝金属的组织与性能·····	181
一、焊缝金属的一次结晶·····	181
二、焊缝金属的固态相变·····	182
三、焊缝金属的化学不均匀性·····	182
第六节 焊接热影响区·····	183

一、熔合区的组织与性能·····	183
二、焊接热影响区加热时的组织转变·····	183
三、焊接热影响区冷却过程的组织转变·····	184
四、焊接热影响区的组织与性能·····	185
第七节 焊接接头组织和性能的调整与改善·····	186
一、焊接接头的特点·····	186
二、影响焊接接头组织和性能的因素·····	187
三、焊接接头组织和性能的调整与改善·····	188
实验四 焊条熔化系数、熔敷系数的测定·····	188
实验五 熔敷金属扩散氢测量·····	190
实验六 焊接接头金相组织观察·····	195
思考练习题·····	196
 第六章 焊接缺陷的产生及防止·····	198
第一节 焊接缺陷的种类及特征·····	198
一、焊接缺陷的类型·····	198
二、常见焊接缺陷的特征及危害·····	199
第二节 焊缝中的气孔与夹杂物·····	201
一、焊缝中的气孔·····	201
二、焊缝中的夹杂物·····	208
第三节 焊接结晶裂纹·····	209
一、结晶裂纹的特征·····	210
二、结晶裂纹产生的原因·····	210
三、影响结晶裂纹产生的因素·····	210
四、防止结晶裂纹产生的措施·····	214
第四节 焊接冷裂纹·····	216
一、焊接冷裂纹的类型·····	216
二、焊接冷裂纹产生的原因·····	216
三、防止焊接冷裂纹的措施·····	219
第五节 其他焊接缺陷·····	221
一、咬边·····	221
二、焊瘤·····	221
三、凹坑与弧坑·····	221
四、未焊透与未熔合·····	222
五、塌陷与烧穿·····	222
六、夹渣·····	223
七、焊缝尺寸与形状不符合要求·····	224
思考练习题·····	224
 参考文献·····	226

绪 论

焊接技术在工业生产中应用的历史并不长，但它的发展却非常迅速。在短短的几十年中，焊接技术已广泛地应用于许多工业部门，如机械制造、石油化工、电力、建筑、交通运输、航空航天、原子能、海洋开发、电子技术等，成为现代工业的共性技术和加工方法。目前，焊接已发展成为一门独立的学科，成为工业生产中不可缺少的加工工艺，并将发挥越来越大的作用。

焊接技术的广泛应用得益于焊接技术的不断发展进步。新方法、新技术的开发应用，设备机械化和自动化程度的不断提高等，大大地提高了焊接质量、焊接效率，拓宽了焊接的应用领域。同时随着科学技术的发展，新能源的开发与应用，为焊接新方法提供了理论与物质基础，而高、新、精产品的开发，又对焊接技术提出了更高的要求，促进了焊接技术的进步。

我国的焊接技术基本上是新中国成立后才开始起步的，但在较短的时间内就取得了惊人的进步和可喜的成就。早在建国初期，我国就掌握了桥式起重机和客货轮的焊接技术。在 20 世纪 60 年代，成功地设计与制造了全焊接结构的 $1.2 \times 10^5 \text{ N}$ 水压机，解决了当时缺乏大型加工及冶金设备的困难。

改革开放以来，随着国家重点开发材料、能源、交通、石油化工等基础工业战略的实施，焊接技术的应用与进步取得了举世瞩目的成就。焊接技术不仅成功地应用于大型水力火力发电成套设备、大型化工生产设备、国内容积最大的高炉、跨度最大的大吨位桥式起重机的制造中，还成功地用于核电站，以及过去完全依赖进口的热壁加氢反应器等建造中。与此同时，在引进国外先进技术的基础上，还对大中型骨干企业进行了设备更新与改造。先进的焊接技术与控制系统，已在较大范围内得到应用。

近年来，在三峡电站、西气东输以及奥运场馆等国家重点工程项目建设中，焊接技术发挥着举足轻重的作用。随着我国经济的快速发展，在国家建设的诸多领域对焊接人才的需求越来越多，不仅需要较多的高层次专门人才，更需要大量的在生产第一线工作的高素质劳动者及中、初级技术人才。

一、金属焊接的本质与熔化焊的分类

在机械制造业中，将两个或两个以上金属零件连接在一起的方法有螺栓连接、铆钉连接、焊接和粘接等，如图 0-1 所示。前两种属于可拆卸的连接，而焊接是一种不可拆卸的永久性连接。可见金属焊接与其他连接方法不同。根据 GB/T 3375—94《焊接术语》中的定义，“焊接是通过加热或加压，或两者并用，并且用或不用填充材料，使工件达到结合的一种方法”。与粘接不同，焊接是使两个分离的金属工件达到原子结合而形成整体的一种方法。

根据上述定义，焊接时必须加热或加压（或两者并用）。按照加热的程度以及是否加压，可将焊接划分为熔焊、压焊与钎焊三大类。焊接时，将待焊处的母材金属熔化以形成焊缝的焊接方法叫做金属熔化焊，简称熔焊。焊接过程中，必须对焊件施加压力（加热或不加热）以完成焊接的方法叫做压力焊，简称压焊。采用熔点比母材熔点低的金属材料作钎料，将焊

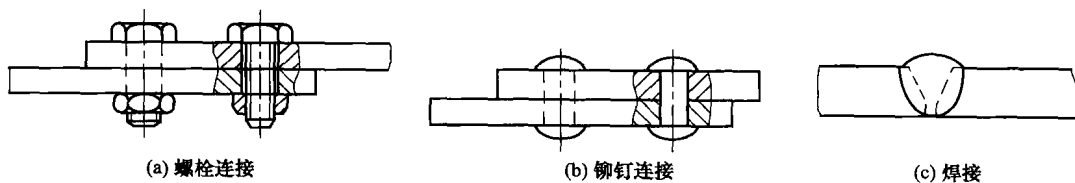


图 0-1 几种常用连接形式

件与钎料加热到高于钎料熔点，低于母材熔化温度，利用液体钎料润湿母材，填充接头间隙，并与母材相互扩散实现连接的焊接方法叫做钎焊。

金属熔焊是机械制造业应用最多的一类焊接方法。在大型、高参数（高温、高压下运行）设备，如大吨位船舶、舰艇、发电设备、核能装置、化工机械的制造中，几乎全部采用熔焊。熔焊时，焊接热源将焊接处的母材及填充金属熔化形成熔池，如图 0-2（a）中的细实线部分所示。熔池金属与周围的高温母材金属紧密接触，且充分浸润，待焊接热源离开后，温度降低，液态的熔池金属冷却凝固，形成同母材金属长合在一起的联生结晶，成为原子结合的接头，如图 0-2（b）所示。

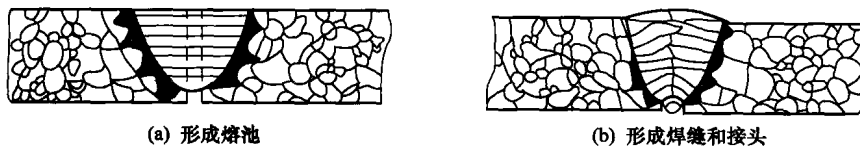


图 0-2 熔焊接头示意图

金属熔化焊的方法很多，生产中常见的熔焊方法如图 0-3 所示。

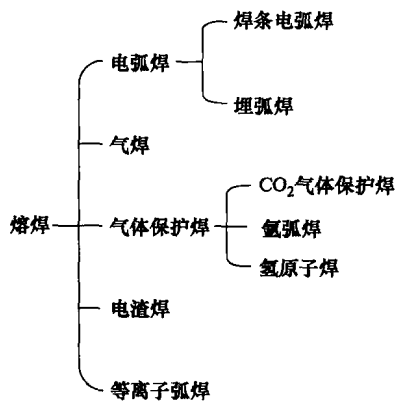


图 0-3 常见的金属熔化焊方法

二、学习本课程的目的与意义

在熔焊过程中，被焊金属（即“母材”）和填充金属发生加热熔化，必然会产生一系列的冶金和热应力作用，从而可能产生裂纹、气孔、夹杂等焊接缺陷，使焊接接头的力学性能和理化性能等达不到使用要求。焊接接头的性能质量不仅与母材和填充金属有关，而且与熔焊中的物理化学反应或冶金反应有关。如焊条电弧焊时，对于不同的母材，例如钢和铜，因材料不同，所用焊条不同，焊接接头的性能不同。如果母材相同，但所选用的焊条药皮类型不同，得到的焊接接头性能也不相同。即使母材和焊条完全相同，如果焊接工艺条件不同，所获得的焊接接头的性能质量也不相同。因此，要掌握和应用金属的焊接技术，必须了解金

属材料和热处理的基本知识,掌握焊接材料的特点与选用方法,懂得熔焊过程中的冶金基本规律,理解焊接缺陷产生的原因及防止的措施。

金属熔化焊基础是融金属材料 and 热处理、熔焊原理等于一体的焊接专业必修课程,学习本课程,对焊接专业后续课程的学习以及将来从事焊接技术工作都有着非常重要的意义。

三、学习本课程的目标要求

本课程是根据教育部中等职业学校三年制焊接专业《金属熔化焊基础》教学大纲编写的,是中等职业学校焊接专业的一门主干课程,通过学习要求达到以下目的。

1. 知识目标

- ① 了解金属与合金结晶的基本理论,金属晶体结构的塑性变形与再结晶的基本知识。
- ② 了解金属材料的成分、组织结构与性能之间的关系。
- ③ 理解金属热处理原理与方法。
- ④ 理解焊缝形成过程中成分、组织变化的规律。
- ⑤ 理解热影响区金属组织和性能变化的基本规律。
- ⑥ 了解熔化焊过程的基本规律、焊接冶金特点。
- ⑦ 理解金属熔化焊过程中常见缺陷产生的原因及控制方法。
- ⑧ 掌握焊接材料的特点、选用原则及焊条制造过程。

2. 能力目标

- ① 初步具备金相显微分析,鉴别钢和铸铁金相组织的能力。
- ② 能借助手册等工具正确选用、合理使用金属材料及热处理方法。
- ③ 初步具备根据生产实际条件分析常见焊接缺陷产生的原因及提出防止措施的能力。
- ④ 能正确选用和使用焊条,能借助焊接手册正确选用和使用焊丝、焊剂等焊接材料。
- ⑤ 具有一定的实验操作技能和正确分析实验结果的能力。

四、学习本课程的方法

本课程内容与生产实际紧密相连,学习中应掌握以下方法。

- ① 注意理论联系实际,培养分析问题和解决问题的能力。
- ② 注意前后知识的融会贯通和相关知识的运用。
- ③ 学习中要学会分析、归纳、总结的方法,提高自学能力。
- ④ 积极参加各种实习和生产实践活动,仔细观察,积极思考。
- ⑤ 重在知识的应用,防止过多过深的理论探讨和追求理论完整性。

第一章 金属学基础

【本章要点】 金属材料物理性能、力学性能的定义、计算及测定，金属晶体结构与缺陷的类型及同素异构转变，合金组织结构与结晶。铁碳合金的组织与相图分析、应用，金属受力时组织与性能的变化。

第一节 金属材料的物理性能

一、金属材料的物理性能

材料受到自然界中光、重力、温度场、电场和磁场等作用所反映的性能，称为物理性能。金属及合金的主要物理性能有密度、熔点、膨胀系数、导电性、导热性和电磁性。由于机械零件的用途不同，对其物理性能的要求也就完全不一样。

二、密度

某种物质单位体积的质量，叫做这种物质的密度。密度是物质的一种特性，每一种物质都有一定的密度，不同种类的物质密度不同，与颜色、形态、软硬等物质特性相同，密度反映了物质的一种性质。金属的密度用金属的质量除以金属的体积来计算，即 $\rho = P/V$ ，其中 ρ 为密度， P 为质量， V 为体积，密度的单位为克/立方厘米 (g/cm^3) 或千克/立方米 (kg/m^3)。在实际应用中，除了根据密度计算金属零件的质量外，很重要的一点是考虑金属的比强度（强度 σ_b 与密度 ρ 之比）来帮助选材。

三、熔点

金属由固态转变为液态时的温度称为熔点。与沸点不同的是，熔点受压力的影响很小。纯金属都有固定的熔点，金属可分为低熔点（低于 700°C ）金属和难熔金属两大类。如锡、铅、锌等属低熔点金属，钨、钼、铬、钒等则属难熔金属。熔点是制订热加工（冶炼、铸造、焊接等）工艺规范的重要依据之一，常用低熔点金属制造熔断器和防火安全阀等；难熔金属可制造耐高温零件，在火箭、导弹、燃气轮机等方面获得了广泛的应用。

四、热膨胀性

物体因温度改变而发生的膨胀现象叫“热膨胀”。通常在外压强不变的情况下，大多数物质在温度升高时，其体积增大，温度降低时，体积缩小。金属受热时，它的体积会增大，冷却时则收缩，金属的这种性能称为热膨胀性。热膨胀性的大小用线胀系数或体胀系数来表示。

五、导热性

金属传导热量的能力称为导热性。热导率说明维持单位温度梯度（即温度差）时，在单位时间内，流经物体单位横截面的热量。金属材料的热导率越大，说明导热性越好，一般来说，金属越纯，其导热性越好。导热性好的金属散热也好，在制造散热器、热交换器等零件时，就要注意选用导热性好的金属。

六、导电性

金属能够传导电流的性能称为导电性。长 1m，截面面积为 1mm² 的物体在一定温度下所具有的电阻，叫做电阻率。电阻率越小，导电性就越好。电导率是电阻率的倒数，显然，电导率大的金属，电阻值小，则导电性好。

导电性和导热性一样，随合金成分的复杂化而降低，因而纯金属导电性总比合金好。为此，工业上常用纯铜、纯铝作导电材料；而用电阻大的铜合金（例如康铜-铜、镍、锰合金）作电阻材料。

第二节 金属材料的力学性能

在焊接结构的设计、制造中选用金属材料时，常以力学性能为主要依据，因此熟悉和掌握金属材料的力学性能是十分重要的。

力学性能是指金属材料受外力作用时表现出来的性能。力学性能通常包括强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷作用性质的不同，它可以分为静载荷、冲击载荷及疲劳载荷三种。

静载荷是指外力大小和方向不变或变动很慢的载荷。

冲击载荷是在短时间内以较高速度作用于零件上的载荷。

疲劳载荷是指所经受的周期性或非周期性的动载荷（也称循环载荷）。

金属材料受不同载荷作用而发生的几何形状和尺寸的变化称为变形。变形一般分为弹性变形和塑性变形。弹性变形是指在外力作用下产生变形，当外力去除后，变形也随之消失；其变形大小与外力成正比。塑性变形是指在外力去除后仍能保留下来的永久变形。

金属受外力作用后，为保持其不变形，在材料内部作用着与外力相对抗的力称为内力。单位截面积上的内力称为应力。金属受拉伸载荷或压缩载荷作用时其横截面积上的应力 σ 按下式计算

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1-1)$$

式中 σ ——应力，Pa^①；

F ——外力，N；

S ——横截面积，m²。

一、强度

强度是材料抵抗外力产生塑性变形或断裂的能力。材料的强度可用它承受载荷时的应力值来表示。

根据载荷作用方式不同，强度可分为抗拉强度 σ_b 、抗压强度 σ_{bc} 、抗弯强度 σ_{bb} 、抗剪强度 τ_b 和抗扭强度 τ_t 五种。一般情况下多以抗拉强度作为判别材料强度高低的指标。

金属材料的强度和塑性指标可以通过拉伸实验来测定。拉伸实验的方法是将拉伸试样装夹在拉伸试验机上，缓慢加载，试样受力后，开始变形伸长，并随拉力的增加，变形量增大，直至拉断为止。然后根据测得的数据，即可求出有关的力学性能。

① 应力单位为 Pa，1Pa=1N/m²。当面积用 mm² 时，则应力可用 MPa 为单位。1MPa=1N/mm²=10⁶Pa。

1. 拉伸试样

国家标准 (GB 228—87) 对拉伸试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定。图 1-1 所示为圆形拉伸试样。图中 d_0 为试样直径, l_0 为试样标距长度。根据标距长度与直径之间的关系, 试样可分为长试样 ($l_0=10d_0$) 和短试样 ($l_0=5d_0$) 两种。

2. 力-伸长曲线

在拉伸实验过程中, 实验机自动记录载荷与伸长量之间的关系, 并得出以载荷为纵坐标、伸长量为横坐标的图形曲线, 叫做力-伸长曲线, 也称拉伸图。图 1-2 所示为低碳钢的力-伸长曲线。由该图可见, 低碳钢试样在拉伸过程中, 其载荷与伸长量的关系明显地表现出以下几个变形阶段。

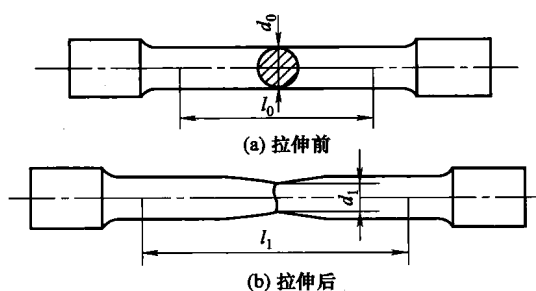


图 1-1 圆形拉伸试样

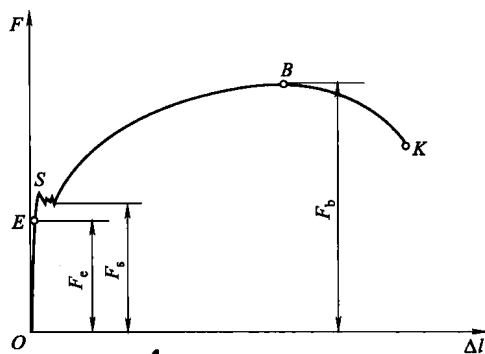


图 1-2 低碳钢的力-伸长曲线

OE——弹性变形阶段, 这时由于载荷 F 不超过 F_e , 外力与变形成正比, 试样只产生弹性变形。当外力去除后, 试样恢复到原来的长度。 F_e 为能恢复原始形状和尺寸的最大拉伸力。

ES——屈服阶段, 当载荷超过 F_e 时, 试样除发生弹性变形外, 还产生部分塑性变形。此时若卸载的话, 试样不能恢复到原有的长度, 而保留一部分残余变形。当外力达到 F_s 值时, 图上出现一个平台 (或锯齿状), 这种在载荷不增加或略有减少的情况下, 试样继续发生变形的现象叫做屈服。 F_s 称为屈服载荷。

SB——强化阶段, 当载荷超过 F_s 后, 试样的伸长量与载荷又将呈曲线关系上升, 但曲线的斜率比 OE 段小。即载荷的增加量不大, 而试样的伸长量却很大, 表明当载荷超过 F_s 后, 试样开始产生大量的塑性变形。在此阶段, 由于变形抗力增加, 欲继续变形, 必须不断增加载荷, 这种现象称为“形变强化”。 F_b 为试样拉伸实验时的最大载荷。

BK——缩颈阶段 (局部塑性变形阶段), 当载荷达到最大值 F_b 时, 试样的局部截面缩小, 这种现象称为“缩颈”。由于试样局部截面的逐渐减小, 故载荷也逐渐降低, 当达到曲线上的 K 点时, 试样被拉断。

3. 强度指标

工程上最常用的强度指标是屈服强度和抗拉强度。

(1) 屈服强度 (屈服点) 材料产生屈服时的最小应力值叫屈服点 (屈服强度), 用符号 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-2)$$

式中 σ_s ——屈服强度, MPa;